

## Estudio y control automático de la operación de extrusión de baldosas cerámicas

M. AGUILELLA<sup>1</sup>, L. FOUCARD<sup>1</sup>, G. MALLOL<sup>1</sup>, M. J. SÁNCHEZ<sup>1</sup>, M. LÓPEZ<sup>2</sup>, R. BENAGES<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Tecnología Cerámica. Asociación de Investigación Industrias Cerámicas. Universitat Jaume I. Castellón

<sup>2</sup> EXAGRES, S.A. Avda. Reina de los Apóstoles, s/n, 12549 Betxí, España

**Este trabajo ha sido presentado como comunicación oral, tras su evaluación por el Comité Científico, en el XII Foro Global del Recubrimiento Cerámico. QUALICER (13 y 14 febrero 2012. Castellón. España).**

Los cada vez mayores tamaños de baldosas demandados por el mercado, las mayores exigencias de calidad y la colocación cada vez más similar a la de los productos prensados hacen que, para mantener la competitividad del producto extrudido, sea necesario estrechar los márgenes de tolerancia del tamaño final de las piezas.

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que el agua de amasado tiene una gran influencia sobre la contracción de secado, pero apenas afecta a la contracción de cocción del producto. Este hecho indica que el control de la adición de agua durante el proceso de extrusión se hace indispensable para evitar la variación de la contracción de secado y asegurar, de este modo, una buena estabilidad dimensional del producto final.

*Palabras clave: Densidad aparente, Extrusión, Intensidad, Contracción de secado, Calibres.*

### Study and automatic control of the ceramic tile extrusion operation

The ever-larger tile sizes demanded by the market, the higher quality requirements, and the increasingly similar installation to that of pressed products make it necessary to narrow the tolerance limits of final extruded tile size in order to maintain the product's competitiveness.

The results of this study show that, though mixing water has a great influence on drying shrinkage, it hardly affects extruded tile firing shrinkage. This indicates that control of the water added in the extrusion process is indispensable in order avoid variations in drying shrinkage and, thus, to assure good dimensional stability of the end product.

*Keywords: Bulk density, Extrusion, Intensity, Drying Shrinkage, Calibres.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el nivel de conocimiento que se tiene acerca de la operación de conformado de baldosas cerámicas extrudidas, no es posible alcanzar en este tipo de producto las mismas exigencias de estabilidad dimensional que en los productos fabricados por prensado. Ello conlleva dos graves inconvenientes para los productos extrudidos, por un lado, limita el tamaño de las baldosas fabricadas (normalmente el mayor formato es 330 x 330 mm, mientras que los productos prensado pueden llegar fácilmente a 600 x 1200 mm) y, por otro lado, implica la necesidad de realizar su colocación utilizando una junta de mayor tamaño, lo cual, desde un punto de vista comercial y por razones estéticas, suele penalizar a las baldosas extrudidas frente a los productos conformados por prensado.

Existen en la bibliografía evidencias de que las variables que rigen la operación de conformado de productos cerámicos por extrusión (presión de extrusión, plasticidad de las composiciones, humedad de las masas plásticas, etc.) determinan, tanto el comportamiento de la pieza durante el resto del proceso productivo (secado, decoración, cocción, etc.), como sus propiedades y dimensiones finales. Pese a esto, no se han encontrado en la bibliografía trabajos de investigación encaminados a establecer la relación entre las variables de la

etapa de extrusión y las propiedades del producto final en el proceso de fabricación de baldosas extrudidas.

La fabricación de baldosas extrudidas se inicia con la molturación de las materias primas, generalmente en molinos pendulares, hasta la granulometría deseada. El polvo resultante se somete a un proceso de humectación discontinuo en una amasadora de gran capacidad donde se incrementa su humedad hasta aproximadamente los 0,16 kg de agua/ kg de sólido seco. Posteriormente, el polvo se transporta hasta los silos de alimentación de la extrusora mediante cintas transportadoras. Desde estos silos el material es alimentado de forma continua hasta la amasadora del grupo de extrusión donde se dosifica el agua necesaria para que el polvo alcance un contenido en humedad de 0,17 kg de agua/ kg de sólido seco. La masa plástica resultante se introduce en una cámara de vacío desde la cual el husillo del cuerpo de extrusión la hace avanzar hacia la boquilla de extrusión en la cual se le confiere a la baldosa el espesor deseado. Posteriormente, un sistema de corte dotado de varias cuchillas metálicas define, tanto el ancho, como la longitud en verde de las piezas.

La propia variabilidad del proceso de humectación en discontinuo, asociada a cambios en la humedad de las materias primas, imprecisiones en el pesaje, cambios en las condiciones ambientales, segregaciones, etc., dificulta que todos los lotes

procesados en la amasadora alcancen la misma humedad. Esto obliga a realizar controles rutinarios del agua de amasado para asegurar la constancia de este variable. En una situación habitual de control, el operario realiza medidas de humedad en la cinta de alimentación de forma discontinua y regula el caudal de agua alimentado a la amasadora para tratar de mantener constante la humedad de la masa plástica. Al mismo tiempo, se verifica periódicamente el consumo de la extrusora, el consumo de la amasadora y la presión en la boquilla de la extrusora, ya que estas variables están directamente relacionadas con la consistencia de la masa.

Por ejemplo, si el material alimentado llega con una humedad superior a la deseada y no se modifica el caudal de agua, el contenido en humedad superará el valor de consigna fijado en un 17% y el consumo, medido como intensidad de corriente del motor, tanto del amasado como de la extrusión, disminuirá, ya que la menor consistencia de la masa ofrecerá una resistencia menor al flujo de la misma. Frente a esta situación, el operario deberá actuar para disminuir el contenido en agua, de lo contrario, dado que las dimensiones del producto crudo se mantiene constantes gracias a la existencia de un dispositivo de ajuste automático de la cortadora, el cambio en el agua de amasado provocará, como se verá a continuación, un cambio en la contracción de secado que se reflejará en un cambio dimensional del producto final. Si el cambio en el contenido en agua es suficientemente grande, la variación del tamaño de las piezas cocidas puede situar el proceso fuera de las tolerancias del calibre de trabajo.

## 2. OBJETIVO

El trabajo aquí presentado persigue un doble objetivo. En primer lugar, estudiar a nivel de laboratorio la influencia del agua de amasado sobre las distintas propiedades de los soportes conformados, fundamentalmente su contracción de secado y su contracción durante la cocción, con el fin de identificar el rango máximo de variación que puede permitirse a esta variable para mantener una determinada estabilidad dimensional en el producto final. Y en segundo lugar, analizar la etapa de extrusión de baldosas a nivel industrial para validar los resultados obtenidos a escala de laboratorio e implementar un bucle de control automático de la adición de agua de amasado que permita mantener el tamaño final de las piezas cocidas dentro de un rango de variación preestablecido.

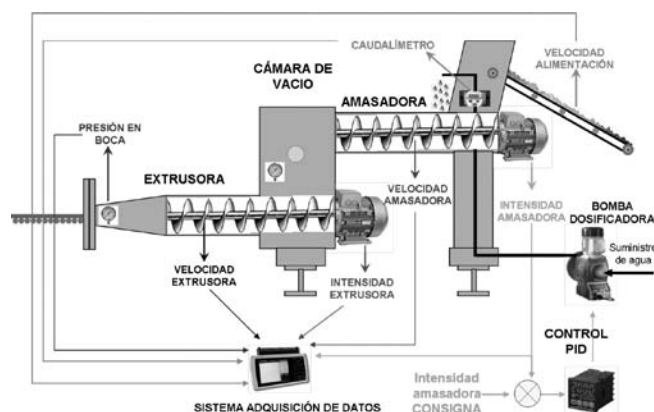


Figura 1. Esquema de la extrusora industrial y variables instrumentadas.

## 3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En la realización del trabajo se ha empleado una composición de las habitualmente utilizadas para la obtención de baldosas de gres extrudido fabricadas por monococción. El estudio de la influencia del agua de amasado sobre el comportamiento y las propiedades de las piezas crudas y cocidas se realizó sobre probetas paralelepípedas conformadas en una extrusora de laboratorio a diferentes contenidos en agua de amasado.

Los ensayos realizados para caracterizar el comportamiento de las probetas conformadas se describen a continuación (1):

- Determinación de la consistencia de la masa plástica midiendo la fuerza necesaria para introducir en las probetas un punzón con terminación cónica.
- Determinación del agua de amasado mediante el secado al ambiente de las probetas durante 24 horas y posteriormente en estufa a 110°C hasta pesada constante.
- Medida de la contracción de secado y densidad aparente en seco mediante el método de inmersión en mercurio.
- Cocción de las probetas en horno de laboratorio a una temperatura máxima de 1200°C.
- Medida de la contracción lineal y de la densidad aparente en cocido mediante el método de inmersión en mercurio.
- Determinación de la absorción de agua mediante la medida de la ganancia de peso experimentada por las probetas cocidas al introducirlas en agua a ebullición durante dos horas.

Las pruebas industriales se llevaron a cabo en una extrusora industrial (ver esquema en la figura 1) destinada a la fabricación de baldosas cerámicas extrudidas de diferentes tamaños. Dicha extrusora constaba de un cuerpo de extrusión, propiamente dicho, y un cuerpo de amasado acoplado en serie al anterior.

El sistema de extrusión objeto de estudio se dotó de un sistema de adquisición de datos en el cual se centralizaron las señales eléctricas correspondientes a diferentes variables de proceso de extrusión medidas con instrumentos ya disponibles en la máquina, así como de otros que fueron específicamente instalados para la realización del trabajo. En concreto, se aprovechó la señal eléctrica procedente del transductor de presión ubicado en la boquilla de la extrusora, de la intensidad del motor de la extrusora y de la amasadora, de la velocidad de extrusión y de amasado y de la velocidad de la cinta transportadora de alimentación del polvo al sistema. Esta instrumentación se completó con la instalación de una bomba dosificadora, que permitía regular con precisión el caudal de agua alimentada al amasado, y con un caudalímetro electromagnético destinado a la medida de dicho caudal.

En la última parte del trabajo, en base a los resultados previamente obtenidos, se implementó un sistema de control automático destinado a regular la cantidad de agua adicionada en el amasado para mantener constante la intensidad de amasado. Para ello se instaló un controlador PID, el cual, en base a una consigna de la intensidad de la amasadora actuaba sobre la bomba de dosificación instalada para, modificando el caudal de agua alimentado, mantener constante la intensidad de amasado (2).

## 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 4.1 Influencia del agua de amasado sobre las propiedades de las piezas

En la gráfica de la figura 2 se ha representando la variación de la contracción de secado, de la consistencia, de la contracción lineal y de la absorción de agua frente al contenido en agua de amasado. Por su parte, en la figura 3, se muestra la variación de la densidad aparente en seco y la densidad aparente en cocido de las probetas frente al agua de amasado. Puede comprobarse que, en todos los casos, la variación de las propiedades de las piezas en función del agua de amasado se ajusta a una línea recta en el intervalo estudiado.

Como puede observarse (figura 2), al incrementar el agua de amasado se produce una disminución significativa de la consistencia de la masa plástica. En efecto, para los contenidos en agua de trabajo, un aumento de la humedad de la pasta implica, fundamentalmente, un incremento de la denominada “agua de contracción”, que es aquella que se sitúa entre las partículas sólidas de la masa plástica, separándolas en mayor o menor medida, en función de su proporción. En este sentido, un mayor contenido en agua al reducir la fricción entre las partículas sólidas, disminuye la consistencia de la masa plástica frente a una deformación. Lo mismo sucede con el aumento de la contracción de secado del material observado en los ensayos. Una mayor separación entre partículas, debida a la existencia de una mayor cantidad de agua entre ellas, origina una mayor contracción en el momento de eliminar dicha agua.

La disminución de la consistencia de la masa plástica, con el aumento de la humedad, origina, a su vez, que el flujo plástico en la extrusora se vea menos dificultado, reduciéndose la presión en la boquilla de la extrusora y, con ello, la compacidad en crudo de las piezas (figura 3).

La mayor porosidad en crudo de las piezas para altos contenidos en humedad, asociada a la reducción de la densidad aparente en seco, es la causante de la disminución de la densidad aparente en cocido y del aumento de la contracción lineal de las piezas durante la cocción. Finalmente, la mayor porosidad de las piezas tras la cocción produce el aumento de la absorción de agua de las piezas a medida que se incrementa el agua de amasado.

Se observa como el agua de amasado no afecta prácticamente a la contracción que experimentan las piezas durante la cocción, sin embargo, en el caso de la contracción de secado su

TABLA 1. CÁLCULO DE LA VARIACIÓN MÁXIMA DE AGUA DE AMASADO PERMITIDA PARA MANTENER EL TAMAÑO DEL PRODUCTO FINAL EN UN MISMO CALIBRE. (TOLERANCIA DE  $\pm 1,5$  mm).

Tamaño	Dimensión en Verde (mm)	Dimensión en Seco (mm)	Dimensión en Cocido (mm)	Contracción Secado (%)	Agua de Amasado (%)
- 1,5 mm	722,5	696,5	663,5	3,7	17,2
NOMINAL	722,5	698,0	665,0	3,5	16,8
+1,5 mm	722,5	699,5	666,5	3,3	16,4

influencia es muy significativa. Esto indica que la principal causa de la generación de diferencias de tamaños en las piezas (calibres) es la variación de la contracción de secado causada por oscilaciones en el agua de amasado.

Así pues, si bien la contracción lineal durante la cocción es el cambio dimensional de mayor magnitud, su dependencia con el contenido en agua de la masa es muy baja, siendo la contracción de secado el parámetro que más influencia presenta sobre la estabilidad dimensional de las piezas cocidas. En la tabla 1 se calcula la contracción de secado y el agua de amasado para una pieza industrial con una longitud nominal en cocido de 665 mm y dos piezas con un tamaño correspondiente a los límites del calibre de trabajo (tolerancia  $\pm 1,5$  mm). Como puede comprobarse, tan sólo puede permitirse una variación máxima de  $\pm 0,4\%$  en el agua de amasado para mantener el tamaño de las piezas dentro de un mismo calibre, de ahí la importancia de esta variable en el control del proceso.

### 4.2 Control automático de la operación de extrusión

A la vista de los resultados obtenidos a escala de laboratorio, se decidió implementar a nivel industrial un lazo de control como el descrito en el apartado 3. Tras una serie de pruebas preliminares en las que se optimizaron los parámetros de funcionamiento del sistema, tanto a nivel de la adquisición de datos, como de la adecuación de los parámetros del controlador, se realizaron experimentos a escala industrial para evaluar el funcionamiento del lazo de control automático

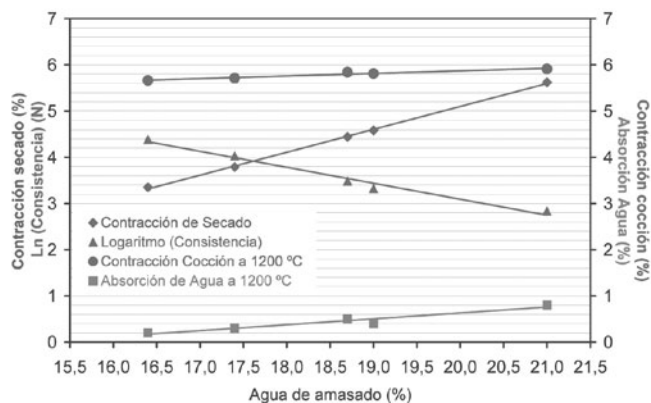


Figura 2. Variación de la contracción de secado, contracción de cocción, de la consistencia y de la absorción de agua con el agua de amasado.

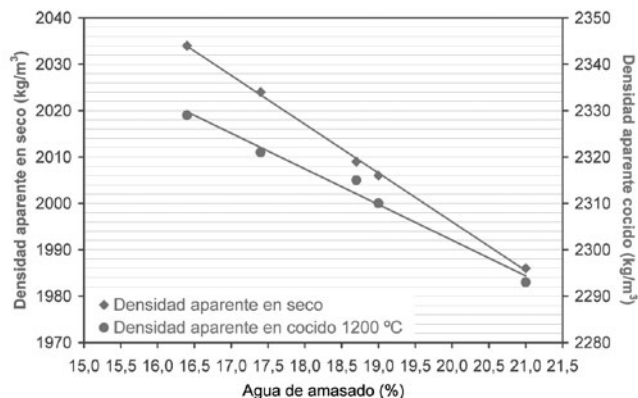


Figura 3. Variación de las densidades en crudo y en cocido con el agua de amasado.

implementado. Dichos experimentos permitieron comparar el funcionamiento del proceso de extrusión en automático con el control convencional (manual). En ambas situaciones las pruebas consistieron en realizar el seguimiento de las diferentes variables de proceso instrumentadas y obtener la distribución final de tamaño de las piezas cocidas conformadas durante el periodo de tiempo analizado (3).

#### 4.2.1 SELECCIÓN DE LA VARIABLE DE CONTROL

Aunque las pruebas a escala de laboratorio mostraron que el contenido en agua de amasado es la variable a mantener constante durante el proceso de extrusión, en la práctica industrial, la medida en continuo de esta variable resulta muy complicada. Si bien existen trabajos que muestran la utilidad de los sensores de humedad por infrarrojos para la medida de esta variable sobre materiales pulverulentos, e incluso soportes cerámicos obtenidos por prensado (4), no existe evidencia de la validez de estos equipos para llevar a cabo la medida de la humedad sobre soportes obtenidos por extrusión o polvo con contenidos en agua por encima del 15%. Experimentos previos pusieron de manifiesto la dificultad de determinar la humedad sobre los soportes recién extrudidos por diversas razones (secado superficial, humedad ambiental, reflexiones lumínicas, etc.) por lo que se decidió utilizar como variable de control que fuese más fácilmente medible, pero que estuviese directamente relacionada con el contenido en agua de la masa. Entre las posibles variables de control restantes se disponía de la presión en la boca de extrusión, de la intensidad de la extrusora y de la intensidad de la amasadora.

Para seleccionar la variable de control se realizaron una serie de pruebas a nivel industrial que permitieron correlacionar los cambios en el caudal de alimentación de agua con el resto de variables. Dichas pruebas consistieron en provocar un cambio en forma de escalón en el caudal de agua y registrar la variación provocada en el resto de variables del sistema. En la figura 4 se representan, en escalas adaptadas, la evolución de la presión, la intensidad de la amasadora y la intensidad de la extrusora para uno de estos experimentos.

La flecha azul indica el inicio del escalón y el resto de flechas indican el momento en que cada una de las variables medidas cambia de tendencia debido al escalón producido en el caudal de agua. A la vista de este gráfico, puede decirse que, tanto la intensidad de la extrusora, como la presión, son variables menos

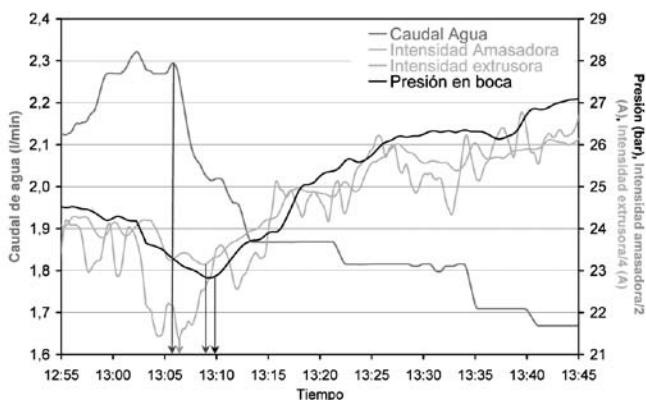


Figura 4. Evolución de las variables de proceso frente a un cambio en escalón del caudal de agua.

oscilantes que la intensidad de la amasadora, lo cual puede ser debido a la mayor heterogeneidad de la masa plástica en la amasadora y a su escasa dimensión. En efecto, si bien en el cuerpo de la extrusora la masa plástica ha sido sometida a una etapa de vacío previa que le confiere su consistencia y homogeneidad definitiva, durante el amasado existe una gran cantidad de aire entre los aglomerados que constituyen la masa plástica. Esto origina que la dinámica del amasado sea más oscilante que la de la extrusión. Pese a la mayor suavidad de las señales de presión e intensidad de extrusión, su respuesta frente al cambio de caudal es más lenta que la de la intensidad de la amasadora. De hecho, al reducir el caudal, la intensidad de amasado empieza a aumentar, debido al aumento de la consistencia de la masa, en apenas un minuto después del cambio, mientras que la intensidad de extrusora requiere entorno a 3 minutos y la presión entorno a un minuto más que esta última. Por esta razón, se decidió utilizar como variable de control la intensidad procedente del motor de la amasadora realizando un filtrado previo de la misma tomando la precaución de no incrementar excesivamente el tiempo de respuesta.

#### 4.2.2 CONTROL CONVENCIONAL (MANUAL)

En el gráfico de la figura 5 se representa la evolución de la intensidad de amasado y del caudal de agua alimentado a la amasadora para un día completo de producción funcionando en modo manual. Como puede observarse, al inicio del día las acciones de control efectuadas de forma manual por los operarios de la instalación consiguen mantener la intensidad de amasado en torno a los 56 A preestablecidos como valor de consigna. Sin embargo, a partir de las 11:00 h las acciones de control llevadas a cabo, en base a las medidas discontinuas realizadas por los operarios, no permiten situar la intensidad de amasado en el valor de consigna.

Tan sólo al cabo de 7 horas de producción continuada es posible volver a reestablecer las condiciones de trabajo iniciales, aunque sólo por un periodo de tiempo limitado pues, como puede observarse, a partir de las 20:00 h, la intensidad de amasado vuelve a incrementarse pese a las acciones de control realizadas por los operarios.

Tras realizar el seguimiento de las variables de operación a nivel de la extrusión, se tomaron los datos de clasificación por tamaños de las piezas cocidas correspondientes al periodo de tiempo analizado. En la gráfica de la figura 6 se ha representado

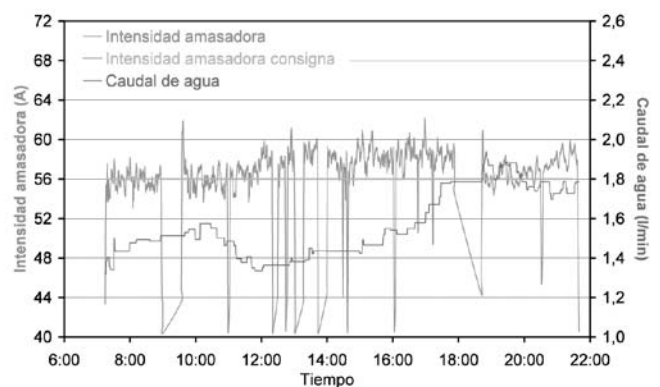


Figura 5. Evolución de la intensidad de la amasadora y del caudal de agua para un día completo de producción con el sistema en control manual.



la distribución de tamaños de las piezas resultantes. Puede comprobarse como dicha distribución, además de no tener un tamaño medio centrado en un determinado calibre, presenta una variabilidad que supera la propia tolerancia de calibre exigida al producto final (3 mm). Es decir, incluso teniendo la producción con un tamaño medio centrado en un calibre, la dispersión originada por el propio modo de control del proceso productivo no permitiría asegurar un mismo calibre para todas las piezas producidas.

#### 4.2.3 CONTROL AUTOMÁTICO

En la figura 7 se ha representado la evolución de la intensidad de la amasadora y del caudal de agua alimentado para un día completo de producción, trabajando en modo automático. Inicialmente, de 6:00 h a las 7:00 h tiene lugar la puesta en marcha del sistema de forma manual, hasta alcanzar unas condiciones de operación óptimas. A partir de ese momento todas las acciones de control destinadas a mantener constante la intensidad de amasado se realizan de forma continua y automática.

Por motivos operacionales, que se explicarán más adelante; sobre las 13:00h se produjo una modificación de la intensidad de consigna. Puede observarse que, a diferencia de cómo sucedía en el control manual en el que las acciones de control se realizaban de forma discreta y discontinua, con el sistema automatizado la acción de control se adapta de una forma mucho más precisa a las necesidades del proceso. El sistema

consigue mantener la intensidad de consigna de la amasadora, incluso cuando se realiza una ligera modificación de su valor, para lo cual se modifica de forma apreciable el caudal de agua alimentado (de 1,9 l/min a 1,1 l/min).

Para evaluar el efecto del sistema de control sobre el proceso se realizó un seguimiento de la humedad de la masa a la entrada de la amasadora y de la intensidad de la extrusora durante el mismo periodo de tiempo que el mostrado en la figura 7. Los resultados se presentan en la figura 8. Puede comprobarse que sobre las 10:30 h se produce un importante aumento de la humedad de la masa a la entrada de la amasadora del 16,0 al 16,8% frente al cual el sistema de control disminuye el caudal de alimentación de agua de 1,6 a 1,1 l/min (figura 7).

Como consecuencia de esta acción de control la intensidad de la amasadora permanece alrededor del valor de consigna siendo el funcionamiento de la extrusora óptimo en todo momento. En la figura 8 se observa como las acciones de control permiten mantener la intensidad de la extrusora dentro de un margen de variación de aproximadamente  $\pm 2$  A durante todo el periodo. En la figura 9 se ha representado de forma conjunta la intensidad del motor de la extrusora junto la presión en la boquilla de la extrusora registrada por el manómetro durante el periodo estudiado. Se observa como ambas señales son proporcionales, lo cual justifica las observaciones realizadas a partir de los ensayos de laboratorio. Es decir, una disminución de la humedad en la masa plástica provoca un incremento en la consistencia que se traduce en una subida de la intensidad de la extrusora y en un aumento de la presión registrada en la boquilla de la extrusora.

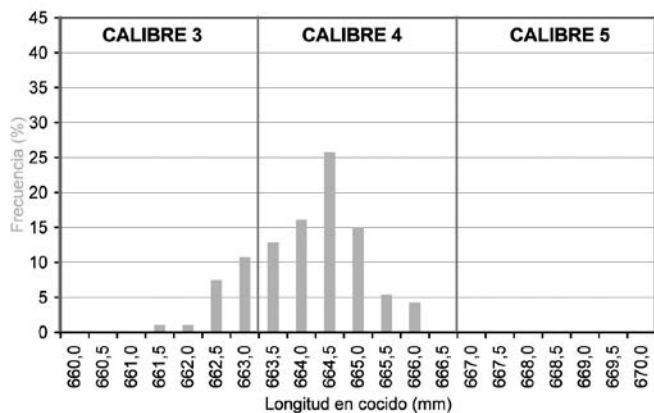


Figura 6. Distribución de los tamaños de las piezas para el periodo analizado con el sistema de control en modo manual.

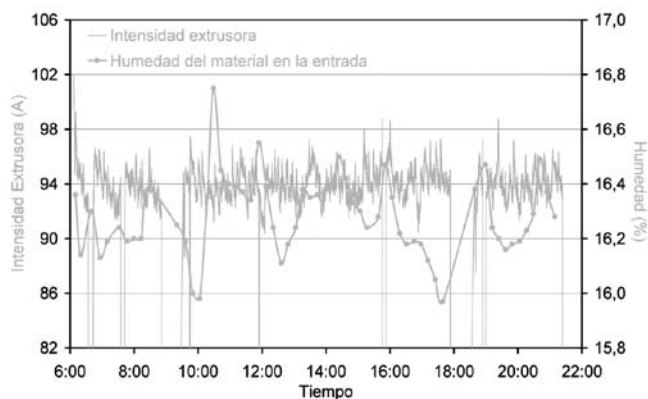


Figura 8. Evolución de la intensidad de la extrusora y de la humedad de la masa a la entrada de la amasadora con control automático.

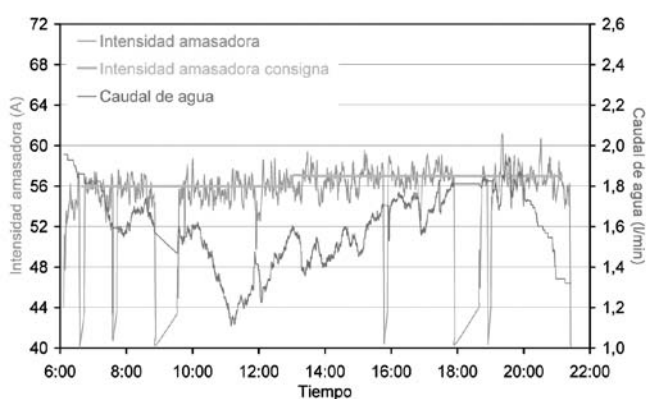


Figura 7. Señal registrada de la intensidad de amasado, consigna y variación del caudal de agua adicionado con control automático.

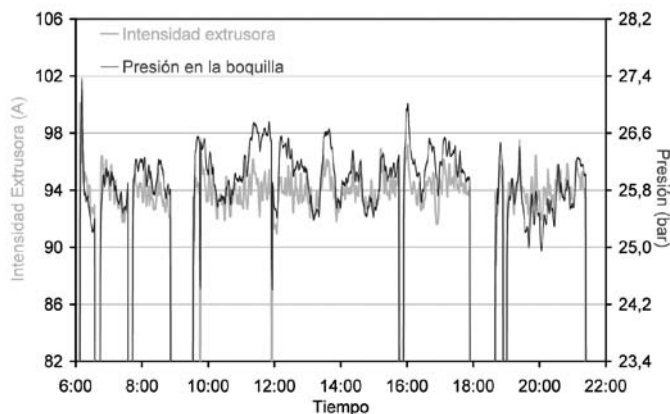


Figura 9. Intensidad registrada en la extrusora junto a la señal de presión en la boquilla de la extrusora con control automático.

Hay que destacar que, cambios en las velocidades de amasado, extrusión o alimentación provocan cambios en la dinámica del proceso que originan que la consigna de intensidad de amasado requerida deba adaptarse en función de dichos cambios. Así, por ejemplo, funcionando en modo automático, si aumentara la velocidad de alimentación, la cantidad de material que debería procesar la amasadora sería mayor y el consumo de amasado aumentaría.

Frente a este aumento del consumo el sistema de control inyectaría un mayor caudal de agua para alcanzar el valor de consigna preestablecido adquiriendo la masa plástica una humedad superior a la deseada. Esto implica que, en caso de necesitar incrementar la cantidad de material alimentado a la amasadora es necesario incrementar proporcionalmente la consigna de intensidad de amasado.

En la figura 10 se ha representado la evolución de la velocidad de la alimentación del material, la velocidad de la extrusora y la velocidad de la amasadora, para el periodo de tiempo analizado en modo automático, expresadas en frecuencia de trabajo de los respectivos motores de accionamiento. Puede observarse que, por motivos de producción, sobre las 12:00 h se produce un incremento de la velocidad de alimentación de material.

Para compensar dicho incremento de la velocidad se hizo necesario aumentar la consigna de la intensidad de amasado en 1 A, tal y como puede apreciarse en el gráfico de la figura 7.

Finalmente, en la figura 11 se representa el histograma de frecuencias de la distribución de tamaños de las piezas

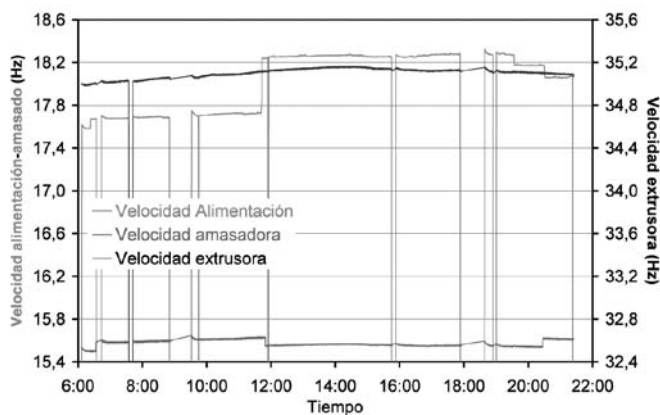


Figura 10. Evolución de las velocidades de alimentación, amasado y extrusión durante el periodo de tiempo analizado en automático.

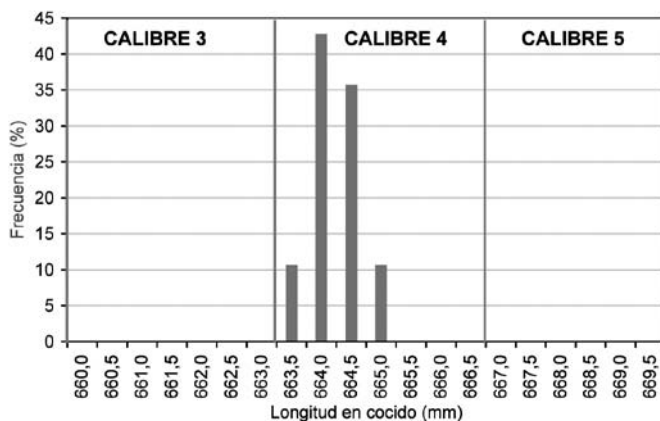


Figura 11. Distribución de tamaños de pieza para el periodo analizado con el sistema de control en modo automático.

conformadas durante el periodo de tiempo analizado. Se observa como, a diferencia de lo sucedido durante el periodo analizado en modo manual, todas las piezas entran dentro del calibre deseado. La distribución de tamaños está ligeramente desplazada hacia la izquierda, dentro de la tolerancia del calibre central, lo que indica que la intensidad de consigna de amasado debería haber sido desde inicio algo superior a la programada en el controlador PID.

Pese a esto, puede concluirse que el sistema de control ha permitido reducir la dispersión de la distribución de tamaños desde los  $\pm 2,25$  mm resultantes de la situación con control manual, a únicamente  $\pm 0,75$  mm. Es decir, respecto a una tolerancia en el calibre de  $\pm 1,5$  mm, el sistema de control consigue reducir la dispersión de las distribuciones a la mitad de dicha tolerancia.

## 5. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- El agua de amasado de la masa plástica es una de las variables más importantes del proceso de extrusión de baldosas cerámicas pues afecta directamente a los cambios dimensionales que experimenta el producto durante su procesado.
- Las variaciones de contracción de secado asociadas a cambios en el contenido en agua de la masa plástica son el origen principal de los defectos asociados a una falta de estabilidad dimensional del producto.
- Se ha implementado un bucle de control automático de la operación de extrusión que actuando sobre la dosificación de agua en el amasado permite mantener constante la intensidad de extrusión. Se ha constatado que, para que esta medida sea eficaz en el mantenimiento del tamaño final del producto, debe además mantenerse constante la alimentación del material a la amasadora o modificar convenientemente la intensidad de consigna de la amasadora.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Instituto de la Pequeña y Mediana Industria Valenciana (IMPIVA) la financiación aportada para su realización, a través del programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico. (IMIDTA/2011/390).

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BARBA, A, et al. *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas*. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica – AICE, 2002.
- (2) MANFRED LEISEBERG KG. Method and apparatus for automatically regulating the plasticity of ceramic material. United States Patent 3,888,470. 1975-06-10.
- (3) PREVIDI, F.; SAVARESI, S.M.; PANAROTTO, A. Design of a feed back control system for real-time control of flow in a single-screw extruder. *Control Engineering Practice* 14, 1111-1121, 2006.
- (4) MALLOL, G. Control y automatización en la industria cerámica: evolución y perspectivas. En: IX Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Cámara oficial de comercio, industria y navegación, 2006. pp. Con47-Con72.

Recibido: 01/03/2012

Aceptado: 11/04/2012